

从科学本质的视角解读物理学科核心素养

蔡铁权 (浙江师范大学物理与电子信息工程学院物理系 浙江 321004)

谢佳莹 (浙江师范大学教师教育学院 浙江 321004)

摘 要 科学本质在国外已有一百多年的研究历史了,特别是到了 20 世纪后期,科学本质的研究已日趋成熟,对科学本质内涵的认识逐渐一致,而且内容也十分丰富。与此同时,科学本质与科学素养的关系也得到广泛的确认,科学本质融入科学教育之中的研究与实践已成为各国科学教育改革的题中之义。我国在本次课程改革中,已将科学本质纳入科学学科核心素养之中。在物理学科核心素养中,科学本质如何理解、如何定位,两者之间的关系如何正确认识,需要对其做详细的阐述。科学本质全面融入物理教学,实现“观念为本”的新颖物理教学,是我们提出的物理教育改革的美好愿景。

关键词 物理教学 科学素质 核心素养 科学本质 观念为本

文章编号 1002-0748(2022)6-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

理解科学本质是现代社会的公民不可缺少的科学素养,科学本质教育是科学教育的基本任务,这在国际科学教育界已成为一种共识。我国本次基础教育课程改革在物理课程标准中已明确地列入这一内容,标志着我国科学教育界对科学本质的认识,已从理论探讨和学术界的研究上升到了课程改革的目标,科学本质成为学科核心素养的重要组成部分。

我们在十几年前已对科学本质做过研究^[1],本文将从科学本质的视角对物理课程标准中的学科核心素养进行全面的解读,以深化对物理学科核心素养内涵的理解,凸显科学本质的地位与作用。

1 科学本质的内涵与演进

对科学本质(nature of science)的内涵理解采用迈克康马斯(William F. McComas)的说法:科学本质是一个更能描述科学事业本身的更具包容性的术语。科学本质是一个丰富的整合性的平台,整合了包括科学史、科学哲学、科学社会学及科学心理学的研究成果,对科学是什么、科学是如何运作的、作为一个社会群体的科学家们怎样工作、社会自身怎样引导和作用于科学事业而做出有价值的描述,以及科学和人类其他活动的分界线是什么、科学思想是被发现的还是被发明的、科学共同体中的一致意见是如何取得的,等等,从这样多个维度来研究科学和科学家。对科学教育来说,科学本质是一个引导

科学教育工作者向学生准确地描绘科学的基础领域。同时,迈克康马斯在分析 8 个国际科学教育标准文件时,对其中科学本质的解释有着明显的共同之处或一致观点做了归纳,分为 14 个方面,成为被广泛引用的科学本质内容框架。

对科学本质的关注,最早可追溯到美国中央科学与数学教师协会在 1907 年就强调的对理解数学中的科学方法和科学过程的重视。杜威(John Dewey)在 1916 年主张:理解科学方法比获得科学知识更重要。1938 年,贾菲(B. Jaffe)在其编写的高中教材《化学新世界》中列举了科学本质的目标。到了 20 世纪下半叶,科学本质这一概念由美国国家教育研究协会明确地陈述为理解教学的一个主要目标,施瓦布(J. J. Schwab)在 1964 年论证了科学教育中包含科学本质的必要性。在 20 世纪 60 年代末出版了许多相关书籍,1968 年罗宾逊(J. T. Robinson)在《科学本质与理科教学》一书中,第一次为科学教育工作者提供了联系科学哲学的现成方法。20 世纪 90 年代以来,一些国际会议对科学本质给予了极大的关注,科学的社会研究被广泛重视,对科学史与科学哲学为什么以及怎么样融入学校科学教育中进行了深入的探讨。一些组织如英国科学教育协会、美国全国理科教师协会、美国科学促进会以及美国全国科学研究协会都接受将科学本质融入学校科学教育之中。许多科学教育工作者对此做出了重要的贡献,尤其突出的如霍德森(D. Hodson)、

李德曼 (N. G. Lederman)、马修斯 (M. R. Matthews)、迈克康马斯、赫里克 (F. Abd-El-Khalick)、黄小玲 (Alice Wong)、郭重吉等。萨默斯 (M. Shamos) 在《科学素养的误区》一书中尖锐地指出: 科学知识对于获得科学素养并不是那么重要, 而理解科学本质则是其先决条件^[2]。

在本文中, 我们采纳了赫里克等于 2019 年提出的科学本质分析框架, 这一框架分析了美国国家科学教育标准文件中对科学本质维度的阐释, 内容包括科学知识的经验性、观察与推论之间的关系、科学家的创造性、观察渗透理论、科学定律和科学理论之间的关系以及科学的社会性等 10 个维度^[3], 详见表 1。

表 1 美国国家科学教育标准文件中对于科学本质内涵的分析说明

科学本质维度	科学标准分析中强调的维度
经验性	科学主张源于对自然现象的观察, 并与观察结果相一致。然而, 大多数时候科学家们并没有“直接”接触到自然现象; 他们的观察几乎都是经由个体感知, 受科学“工具”背后的假设所影响, 并从复杂的理论框架中进行解释的
推论性	观察与推论之间有一个关键的区别: 即观察是对自然现象的描述性叙述, 这些自然现象可以通过感官 (或感官的延伸) 获得, 观察者可以相对容易地达成共识 (例如, 物体在地面上释放后往往会掉到地面); 推论则是关于现象的陈述, 不能直接通过感官获得 (例如, 物体往往会因为“重力”作用而掉到地面)。科学概念, 如重力, 在某种意义上是推论获得的, 只能通过它们的表现形式或作用效果来测量
创造性	科学不是完全理性或有序的活动。产生科学知识涉及人类的创造力, 即科学家创造对事物缘由的解释和理论实体。科学本质的创造性, 加上它的推论性质, 要求科学实体 (原子、力场、物种等) 是功能性的理论模型, 而不是“现实”的忠实复制
理论渗透 (主观性)	科学家的理论和学科承诺、信念、先验知识、训练和期望等背景因素会影响科学家选择研究问题和研究方法、观察对象 (观察什么和不观察什么), 以及对这些观察的解释。这种 (有时是集体的) 个性或心态解释了理论在产生科学知识中的作用。与普遍观念相反, 科学从不中立的观察开始。与调查研究一样, 观察也总是受到某些理论观点的激励和引导, 并从这些理论观点所引出的问题中获得意义
暂定性	科学知识是可靠和持久的, 但从来不是绝对的或确定的。所有的知识类别 (“事实”、理论、规律等) 都是变化的。随着概念性和技术上的进步, 科学知识随新证据的变化得以显现; 因为现存的证据是根据新的或修正的理论思想, 或者是由于文化和社会领域的变化、已建立的研究项目的方向的转变, 来重新解释的
“科学方法”的神话 (局限性)	这个神话通常表现在, 相信有一种像食谱一样的逐步程序, 它代表了所有的科学实践, 这种观念是错误的。没有一种单一的“科学方法”可以保证知识的发展是绝对正确的。科学家确实在观察、比较、测量、测试、推测、假设、辩论、创造思想和概念工具, 并构建理论和解释, 然而, 没有一个单一的 (实际的、概念性的、或逻辑的) 活动序列可以正确地引导他们获得有效的知识, 更不用说“确定的”知识了
科学理论	科学理论是建立起来的、高度充实的、内部一致的解释体系, 它能 (a) 解释在几个研究领域中大量看似不相关的观察结果; (b) 产生研究问题和疑难; (c) 指导未来的研究。理论通常是基于假设或公理, 并假定不可观测实体的存在。因此, 直接测试理论是站不住脚的。只能用间接证据去支持和验证理论; 科学家从理论中得出特定的可验证的预测, 并将其与观察结果进行对比, 预测和观察结果之间的一致性增加了被测试理论的可信度
科学定律	一般来说, 定律是对可见现象之间关系的描述。相比之下, 理论是对可观察到的现象或这些现象中的规律的推断解释。!j 一般的观点相反, 理论和定律并没有等级关系 (有天真的观点认为, 当“足够”的支持证据被收集时, 理论就成为定律, 或者说定律比理论具有更高的地位)。理论和定律是不同种类的知识, 其中一种不会变成另一种, 它们都是科学的合法产物
科学的社会性	科学知识是经过社会协商得来的。这不能与科学的相对性概念相混淆。这一维度具体指的是与科学团体内部既定的交流和批评场所相关的构成价值, 它通过减少科学家个体特质和主观性的影响, 来提高集体审查的科学知识的客观性。科学期刊使用的双盲同行评议过程是在这方面制定科学本质维度的一个体现
科学嵌入社会与文化	科学是根植和实践于更大的文化环境中的人类事业。因此, 科学受到各种文化元素和领域的影响, 包括社会结构、世界观、权力结构、哲学、宗教以及政治和经济因素。此外, 这种影响是通过对科学研究的公共资助, 以及在某些情况下, 以对自然现象的“可接受的”解释的本质来表现的 (例如, 女权主义观点的出现导致了女性在生物社会科学中的准入率、参与率和领导地位的提高)

2 科学本质、科学素质和学科核心素养

2021 年 6 月 3 日, 国务院发布了我国《全民科学素质行动规划纲要 (2021—2035 年)》(以下简称《纲要》), 明确指出: “科学素质是国民素质的重要组成部分, 是社会文明进步的基础。公民具备科学素

质是指崇尚科学精神, 树立科学思想, 掌握基本科学方法, 了解必要科学知识, 并具有应用其分析判断事物和解决实际问题的能力。”《纲要》强调: “提升科学素质, 对于公民树立科学的世界观和方法论, 对于增强国家自主创新能力和文化软实力, 建设社会主义现代化强国, 具有十分重要的意义。”《纲要》提出了

我国公民科学素质提升的目标：“到 2025 年，我国公民具备科学素质的比例超过 15%，各地区、各人群科学素质发展不均衡明显改善；到 2035 年，我国公民具备科学素质的比例达到 25%，城乡、区域科学素质差距显著缩小，为进入创新型国家前列奠定坚实社会基础。”对于我国基础教育阶段的科学教育水平提出明确要求，改革教学方式，倡导启发式、探究式、开放式教学，推行场景式、体验式、沉浸式学习，保护学生好奇心，激发求知欲和想象力。

为给编制《纲要》提供支持，中国科协于 2020 年 4 月至 10 月组织开展了第十一次中国公民科学素质抽样调查。调查显示，2020 年我国公民具备科学素质的比例达到 10.56%，而且，东西部地区、城乡之间的差距未见明显缩小，老年和低文化水平群体的科学素养水平仍然较低^[4]。科学素质与科学本质内涵之间具有密切的相关性，科学本质在基础教育中的落实，将是提高我国公众科学素质的关键环节。

对公众科学素质与科学本质的关系，国外也十分重视。如英国皇家学会主持起草的文件《公众理解科学》，对英国的正规教育中的科学教育明确地提出目标：要理解科学的知识体系，发展科学思考的方法，通过参加科学活动而获得动脑和动手的能力，理解科学、技术和社会的相互关系，了解科学的历史，等等。这是科学教育的目标，与科学本质的内涵如出一辙，报告也明确宣告这样的目标是为了“促进人们全面地了解科学的本性”^[5]。

我国当前正在推行基础教育课程改革，在幼儿园的学习领域“数学与科学”中就提出：“幼儿科学教育目标应该体现当代全面的科学观”“知识经验的积累为幼儿学习科学提供了基本的支持，科学方法的培养关注幼儿科学探究的过程，科学态度的启蒙能够培养幼儿的科学素养。”^[6]同时，在小学、初中、高中学段的科学相关课程标准中，都显著地在核心素养中融入了科学本质的内涵，凸显出科学本质在科学教育中的重要地位和作用，强调了科学本质与科学素质提高之间的关系，这不仅顺应国际科学教育的主流，也是我国科学教育改革的必由之路。

为深入理解学科核心素养，更好地落实课改理念，达成课改目标，进一步指导物理课堂教学的规范转型，有效地转变教学方式和学习方法，实现“观念为本”的物理教学愿景^[7]，下面从科学本质的内涵视角对物理学科核心素养进行解读。

3 物理观念的科学本质意涵

高中物理课程标准认为，物理观念应包括科学技术的原理、方法与应用，强调科学与工程实践、学科核心概念、跨学科概念，科学教育的目标不是去获得一大堆由事实和理论堆砌的知识，而应是实现一个趋向于核心概念的进展过程^[8]。在此基础上，形成对物质世界的总体认识，以及运用物理观念去解释物理现象、解决实际问题的能力。

学生理解科学本质有利于改变其学习方式，促进实现观念的转变，深化对概念的理解，避免知识的碎片化，关注概念和规律的内在联系，有利于形成核心概念，进一步发展成为物理观念。在知识应用于实际时，能依据具体的问题情境，合理选择适当的物理知识，特别是关注到物理学在解决实践问题时的社会性、文化性，关注到物理学对人类的影响与作用。

科学本质的正确认识有利于学生理解物理学的思想与观点，领会物理学之美。物理学思想是一个博大精深的精神宝库。特别是 20 世纪 40 年代以后，随着计算机的问世，宇宙大爆炸理论的出现，复杂系统论的建立，信息科学的突飞猛进，紧接着，耗散结构理论、超循环理论、混沌学、协同学、突变论先后诞生，非线性科学理论形成，弦理论、宇宙膨胀、系统自组织理论以及黑洞辐射、高维空间、虚粒子、虚空间等纷纷亮相。时至 21 世纪，随着希格斯粒子的发现、引力波被探测、中微子质量的确定、黑洞照片的问世、暗物质暗能量研究不断发展、量子通信与量子计算的成果层出不穷，等等，20 世纪以来的以追求统一性和探索复杂性为补充的物理学思想帮助我们正确地认识世界，应对未来。21 世纪以来精彩纷呈的物理学成果所体现的物理学思想亦将使我们将以全新的物理观念去认识世界^[9]。

特别重要的是，树立理解科学本质作为物理教育的价值追求，包括科学精神、科学方法、科学态度、科学情感、科学价值观和科学伦理观，理解物理学在社会中的地位，理解物理学与其他学科、其他社会子系统的相互关系，在社会与文化背景中理解物理学，理解物理教育，正确确定物理教育的定位和价值取向。

4 科学思维的科学本质要素

科学思维是具有意识的人脑对科学事物（科学对象、科学现象、科学过程、科学事实等）的本质属

性、内在规律及事物之间的相互联系和关系的间接与概括的反映,是观察、实验与思维相结合的产物,是物理学的基本特征,学会学习、批判性思维和创新思维是其重要成分。

学生理解和掌握科学方法是以对科学本质的正确把握为基础的。科学研究方法的多样性,决定了没有一种单一的、绝对正确的科学方法,科学研究的创造性,尤其是观察渗透理论等科学本质内容,使我们对物理学研究的基本方法(观察方法、实验方法、理想化方法、类比方法、模拟方法、数学方法等)能进行正确理解和合理应用。爱因斯坦(Albert Einstein)曾说过:“借助于思维(运用概念,创造并使用概念之间的确定的函数关系,并且把感觉经验同这些概念对立起来),我们的全部感觉经验就能够整理出秩序来。”“世界的永久秘密就在于它的可理解性。”^[10]爱因斯坦对思维在科学规律的形成中所起的巨大作用做了十分中肯的概括,这也是人类理解世界永久秘密的唯一途径。

马斯洛(Abraham Harold Maslow)在他的名著《科学心理学》中指出:科学家的心理动机来自于持久的好奇心,以及表达、表现的需要。“科学产生于人类的动机,它的目标是人类的科学,是由人类创造、更新和发展的,它的规律、结构以及表现形式,不仅取决于它所发现的现实的性质,还取决于完成这些发现的人类本性的性质。”兴趣不仅反映了性格和人格,也表现了性格和人格。科学家对于学科和学科内研究领域的选择,以及研究方法的选择都体现了这一点。“人类价值是科学建立的基础,人类情感需要、认知需要、表达需要以及审美需要,赋予了科学起因和目标。”“简洁明了、用语精炼、优美雅致、朴素率真、精确无误、匀称美观、赏心悦目,这样的审美需要对于数学家和科学家同样是有价值的。”科学家是国际主义者,“科学在任何程度上需要不同国家文化的人的贡献,科学家也必须在某种程度上超脱他所属文化的限度,以便有效地做出更合理的理解和观察”。科学家的研究是忘我的,“真正优秀的科学家往往确实以热爱、献身和克己的态度研究他的工作,似乎他正在进入一个神圣的殿堂。他的确达到对自我的超越——完全的忘我精神;他的态度确实可以称为一种‘宗教式’的——具有绝对真诚和全面真理的品德,而他的激励或高峰体验在他所研究的伟大神秘现象面前时时由于敬畏、自卑和自觉渺小而显得微不足道——所有这些也可以称为神圣的”^[11]。马斯洛在这里对科学家和他们在科学研究

中入木三分的心理刻画与科学本质的内涵若合符节。

5 科学探究的科学本质依据

科学探究是人类探索 and 了解自然,获得科学知识的主要方式,也是学生学习科学的主要方式之一,是一种综合的、关键的科学能力和素养。探究式教学强调学习能力、创新精神、实践能力以及批判性思维和创造性思维的培养。物理课程标准中把科学探究归纳为问题、证据、解释、交流等方面。

科学本质为科学探究与实践提供了有力的理论依据。科学知识的暂时性表明探究的必要性;科学以实证为基础表明探究必须有证据;科学探究的主观性(包括个人、背景、偏见或基于理论的局限,以及人类的推理和想象);科学探究的创造性;科学探究受社会和文化影响;观察与推论的区别;科学理论和定律的功能及它们之间的关系;科学的社会性要求探究体现社会实践内容和直面社会需求(包括社会性科学议题、科学史、伪科学话题、跨学科的综合实践如 STEM 主题等)^[12]。

科学并非是永恒不变的真理,科学知识是科学家在某一科学发展阶段所提出的对科学的解释,是有人为性和情境性的。随着科学的进展,这种解释会被修正或改变,质疑、批判和发展。科学也不是充分公式化的假设的验证或否证。科学在一定时期很难真正证明一个假设的绝对正确或绝对不正确,这些假设和结论也是不断变化与发展的,科学很难发现终极真理。科学具有多样性:①科学本质学说的多样性;②使用不同方法论的科学家的广泛多样性;③几种科学中,与不同主题和问题相关联的探究模式的特定多样性^[13]。科学知识有着实践的本质;科学成果必须公开发表,与同行交流;科学是一种创造性的活动,科学家具有创造力;科学家对实验结果要准确记录、反复实验;科学和技术相互作用;科学史揭示了科学进化和革命的特性……上述科学本质的种种表述,无不科学探究与实践的实施提出了要求,指明了方向,指出了科学学习中探究与实践的可行性、必要性和教育价值。

6 科学态度与责任的科学本质基础

科学的态度与责任是指在认识科学本质及规律,理解科学、技术、社会、环境关系的基础上,形成对科学强烈的动机与兴趣,探究与实践的热情,基于证据发表自己的见解,实事求是,不迷信权威,追求

创新,善于并乐于合作与交流,珍爱生命,热爱自然,保护环境,节约能源与资源,尊重科学,遵守科学规范和科学伦理等。这是物理学科核心素养目标中学生的必备品格。

科学知识的发展过程将使科学本身及科学学习变得生动、有趣,使科学变得人性化,使学习科学成为一个伟大的“探险”过程,从而极大地激发学生学习科学的动机与兴趣,激起探究与实践的热情,而枯燥的教条、机械的背诵记忆则会泯灭学生学习科学的热忱。

正确理解科学是如何发挥作用的,明白结论要基于证据,这有利于提高学生根据各种信息做出决策的能力,而且这对公众参与科学决策十分重要。

人类对科学知识的理解和应用是一种价值判断,负荷了主体的价值因素,观察经验上升为概念、假设或理论的过程中也负荷了主体价值(理论、认识和文化),观察的偏差、实验材料的选取、科学共同体之间的利益之争等,都会导致概念框架的改变。

科学的过程与科学的社会后果紧密相连,科学的本质与其社会功能密不可分,科学技术是一柄“达摩克利斯之剑”,它使人类在取得支配自然的物质力量的同时又可使人类陷入危险之中。

科学的基本精神是怀疑精神与批判精神,科学史是一部不断地被“证伪”的历史,是在更正与发展理论的过程中前进和不断质疑的历史。科学的态度包括两个维度,一个是“科学的态度”,指个人运用科学的方法探究科学知识,并且用于日常生活行为上的意愿、习惯及处置方法的总和,如开放的心胸、诚实、怀疑等;另一个是“对科学的态度”,是指直接或间接与各式各样的科学活动互动后,对于科学与科学家的一些感觉和想法,这些感觉和想法会影响个人对科学的态度,如对科学的兴趣、看法,对科学社会功能的理解,对科学家的社会责任的认同感等^[14]。

对科学家的认识将强烈地感染或影响学生的科学态度与责任。正如爱因斯坦在悼念玛丽·居里(Marie Sklodowska Curie)时所说的:“杰出人物的道德品质可能比纯粹理智的成果对一个时代以及整个历史进程的意义还要大,不仅如此,甚至后者的取得也要在极大程度上依赖于道德境界,而且这种依赖程度比通常所认为的要大得多。”^[15]物理学史上伟大科学家更是如群星璀璨,他们的业绩彪炳千秋。

7 物理教学融入科学本质亟待重现

科学素质的核心内涵是科学本质,物理学科核心素养的各个维度都与科学本质有着内在的关联。可以说,科学本质反映了物理观念的核心思想,体现了科学思维的本质特征,构建了科学探究的概念框架,建立了科学态度与责任的理论基础。因此,要提高我国公民的科学素质,关键是要在基础科学教育中落实科学本质教育。要实现物理课程改革的目标,全面达成物理学科核心素养是具体标志,而科学本质在物理学科核心素养所有维度的彻底融入是必经之途。要改变目前对科学本质与物理学科核心素养关系的片面理解,高度重视体现科学本质的物理教学研究,在中学物理教学(当然也不能忽视幼儿园、小学的科学教学)的具体实践中实施卓有成效的科学本质教学。

参考文献

- [1] 蔡铁权,姜旭英.浙江省小学科学教师科学素养与科学本质观现状调查及认识[J].全球教育展望,2007,36(8):55—58.
- [2] William F. McComas. The Nature of Science in Science Education Rationales and Strategies [M]. New Zealand: Kluwer Academic Publishers, 1998:4—9.
- [3] R. Summers, S. Alameh, F. Abd-El-Khalick, et al. Representations of nature of science in U. S. science standards: A historical account with contemporary implications [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2019(3):1—35.
- [4] 中国公民科学素质调查课题组.第十一次中国公民科学素质抽样调查主要结果公布[J].科普研究,2021(1):94—95.
- [5] 英国皇家学会.公众理解科学[M].唐英英,译.北京:北京理工大学出版社,2004:26—27.
- [6] 张俊.幼儿园科学领域教育精要——关键经验与活动指导[M].北京:教育科学出版社,35—53.
- [7] 蔡铁权,郑瑶.构建“观念为本”的物理教学设计模式[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2021(1):100—108.
- [8] 廖伯琴.普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M].北京:高等教育出版社,2018:49—53.
- [9] 蔡铁权,谢佳莹.现代物理学成就与物理课程改革——从21世纪诺贝尔物理学奖成果谈起[J].物理教学,2021(9):2—7.
- [10] 爱因斯坦.爱因斯坦论科学与教育[M].李醒民,编选.北京:商务印书馆,2016:51—52.
- [11] 马斯洛.科学心理学[M].方士华,译.北京:北京燕山出版社,2013:124—194.
- [12] 万东升,魏冰,张红霞.科学本质教学研究的国际进展与趋势[J].外国教育研究,2016(9):71—81.
- [13] 韦冬余.科学本质与科学教学[M].南京:南京大学出版社,2016:50—67.
- [14] 张晶.HPS教育研究[M].北京:科学出版社,2017:46—52.
- [15] 爱因斯坦.我的世界观[M].方在庆,译.北京:中信出版集团,2018:99—100.